

Ю.Б.ГУСЕВ, ОАО «Головной специализированный конструкторско-технологический институт», Мариуполь

К ВОПРОСУ О ДИАГНОСТИРОВАНИИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ УГЛЕПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

У статті описана методика діагностування стану металоконструкцій вуглеперевантажувача. Наведені дані дослідження на прикладі крана-перевантажувача фірми ФЕБ, ФТА, Німеччина.

The method of diagnosing the state of metalware of coal-loader is described in the paper. The research data are presented on the example of crane-loader made by FEB, FTA, Germany.

Введение. Углерепергрузатели [1-5] работают в тяжелых условиях эксплуатации, сопровождающихся, кроме действия высоких эксплуатационных нагрузок, еще и действием агрессивных веществ (угольная пыль, атмосферные осадки и т.д.). В комплексе получаемое интегральное воздействие приводит к утонению стенок несущих элементов конструкций. В свою очередь при этом происходит исчерпание нагрузочной способности отдельных элементов металлоконструкции. Поскольку математические модели данных процессов с учетом совокупного действия всех факторов отсутствуют, то высокую актуальность и важность приобретают экспериментальные методы исследования текущего состояния углерепергрузателей. Именно они могут стать источником данных о закономерностях изменения несущей способности углерепергрузателей, которые можно будет использовать в создаваемых комплексных моделях для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) металлоконструкций углерепергрузателя и их синтеза по критериям сохранения нагрузочной способности в течение заданного срока эксплуатации. Данные обстоятельства обуславливают актуальность и важность разработки методики диагностирования текущего состояния металлоконструкций углерепергрузателей, находящихся в условиях эксплуатации на действующих производствах, что и составляет содержание данной статьи.

Методика исследований. Рассмотрим методику диагностирования металлоконструкции углерепергрузателя. Ввиду интенсивного режима работы, испытания металлоконструкции углерепергрузателя могут носить как плановый, так и внеплановый характер (зависит от наличия/отсутствия существенных проблем). Для подобного вида конструкций исследования носят периодический устоявшийся характер, характеризующийся довольно стандартным набором измерений. Целью данной статьи является показать на конкретном примере определение общих закономерностей, то есть собственно методику диагностирования.

Таблица 1 – Объект диагностирования

Тип крана	Кран-перегрузатель, грейферный
Транспортируемый материал	руда, кокс, известняк
Плотность в навалку	0,8...2,6 т/м ³
Среднее количество подачи моста	670 т/ч
Скорость передвижения крана	30 м/мин
Скорость передвижения тележки	200 м/мин
Грузоподъемность тележки на тросах	32 тс
Емкость грейфера	6,7 м ³
Скорость спуска грейфера	90 м/мин
Скорость подъема грейфера	80 м/мин
Время замыкания грейфера	8,5 с
Максимальная высота подъема	32 м
Пролет моста	76,2 м
Длина моста	140,75 м
Минимальная рабочая температура	-35°C
Режим работы	весьма тяжелый
Завод-изготовитель	ФЭБ, ФТА, г. Лейпциг, Германия
Год изготовления	1970
Год пуска в эксплуатацию	1972

Объект испытаний (диагностирования). Типовая техническая характеристика состояния крана проводится на примере углеперегрузателя 32 тс х 76,2 м (табл. 1).

Металлоконструкция моста крана – сварная коробчатого сечения, изготовлена из стали МСТ38-3 (рис. 1). Сталь МСТ38-3 по химическому составу и механическим свойствам соответствует ВСтЗсп по ГОСТ 380.

Как видно из рис. 1, 2, несущие балки металлоконструкции углеперегрузателя разбивались на отсеки (59 шт.). В дальнейшем распределения исследуемых величин в левой и правой балках относятся к номерам отсеков как дискретной координате.

Установка тензорезисторов и монтаж измерительной схемы производились в соответствии с требованиями «Технологической инструкции на установку и электрический монтаж тензорезисторов на поверхность изделий машиностроения при испытаниях», АМТ, 1998 г.

Цель и объем диагностирования. Целью проводимого комплекса исследований являлась оценка технического состояния металлоконструкции крана-перегрузателя и определение возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации. При выполнении технического диагностирования выполнен следующий объем работ:

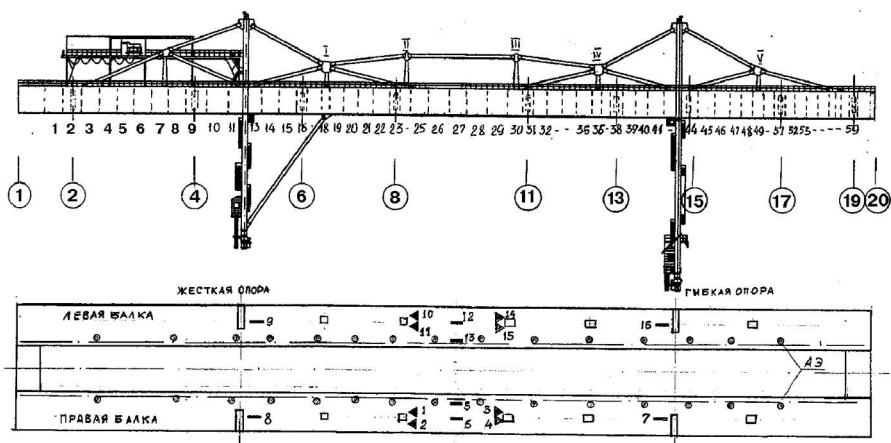


Рисунок 1 – Кран перегружатель грейферный: расположение пьезопреобразователей АЭ и тензорезисторов на мосту крана-перегрузчика РГП-2, рег. №077898;
1...59 – номера отсеков; ● – пьезопреобразователи АЭ; ▽ – тензорезисторы;
① – ② – мостовые балки между осями; I – V – шпренгельные стойки

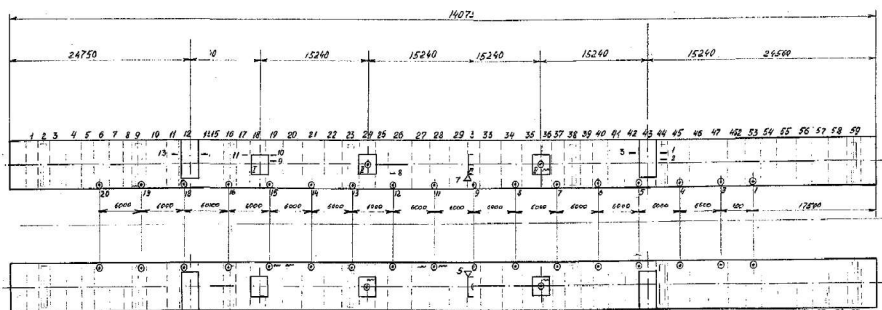


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков АЭ и тензорезисторов на продольных Мостовых балках (вид сверху): ~ – трещины; 1...59 – номера отсеков; ○ – датчики АЭ; ▽ – тензорезисторы; I...V – шпренгельные опоры

- внешний осмотр состояния несущих элементов металлоконструкций при определении мест замера толщин;
- определение степени коррозионного поражения металлоконструкций, измерение толщины стенок металла элементов металлоконструкций;
- контроль элементов металлоконструкции крана с помощью акустической эмиссии (АЭ) на наличие в них развивающихся дефектов, которые ведут к накоплению повреждений в металле, появлению и развитию трещин до критических уровней и повышению вероятности разрушения основных несущих элементов моста и потери ими несущей способности. Определение степени опасности имеющих по-

- вреждений крана на возможность его дальнейшей безопасной эксплуатации;
- определено НДС металлоконструкции крана-перегрузателя от действия статической испытательной нагрузки;
- анализ полученных результатов.

Методика проведения технического диагностирования. *Внешний осмотр* заключался в визуальной оценке состояния металлоконструкции крана, выявлении видимых трещин в основном металле и сварных швах, определении механического и коррозионного износа, а также состояния защитного покрытия.

Измерение толщины стенки металла элементов и определение степени их коррозионного износа. Измерение толщины стенки металла несущих металлоконструкций крана проводилось методом неразрушающего контроля ультразвуковым толщиномером по ГОСТ 25863. В качестве измерителя толщины стенок применялся толщиномер УТ-93П, с погрешностью измерения $\pm 0,1$ мм.

Определение напряженно-деформированного состояния металлоконструкций. Измерение деформаций проводилось методом электротензометрии с использованием фольговых тензорезисторов типа КФ-5П1-20-100-Н-12 и измерителя деформаций ИДЦ-1 в соответствии с требованиями «Методики выполнения измерений статических и динамических деформаций при испытаниях изделий машиностроения», АМТ, 1998. Нагружение крана-перегрузателя при статических прочностных испытаниях осуществлялось испытательной нагрузкой, равной максимальной грузоподъемности – 32 тс. Статическое нагружение осуществлялось приложением нагрузки на консолях, над опорами и в середине пролета моста. За нулевой отсчет при испытаниях приняты показания тензорезисторов при порожнем грейфере и с тележкой, находящейся над гибкой и жесткой опорами.

Контроль металлоконструкций крана методом АЭ. Руководством при выполнении АЭ-контроля являлись ГОСТ 27655 и «Методика определения местоположения развивающихся дефектов АЭ-методом» МР 204-86. Метод акустической эмиссии обеспечивает выявление развивающихся дефектов посредством регистрации и анализа акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и роста трещин в контролируемом объекте. Метод АЭ является интегральным, обеспечивающим контроль всей зоны контроля с использованием одного или нескольких преобразователей АЭ, неподвижно установленных на поверхности металлоконструкции. АЭ-контроль позволяет выявить наличие и определить координаты источников акустической эмиссии.

При принятии решения по результатам АЭ-контроля используют данные, содержащие сведения о всех источниках АЭ, их классификации и установлении источников АЭ, параметры которых превышают допустимый уро-

вень. Классификация источников АЭ выполняется с использованием следующих параметров сигналов: суммарный счет; число импульсов; амплитуда (амплитудное распределение); скорость счета; активность АЭ-сигналов; концентрация источников АЭ.

Выявленные и идентифицированные источники АЭ разделяются согласно ГОСТ 27655 на пассивные источники; активные источники; критически-активные; катастрофически-активные источники. Пассивные и активные источники требуют регистрации, анализа и последующего контроля за их развитием. Критически-активные источники требуют регистрации, контроля в процессе выполнения испытаний и последующего ремонта. Катастрофически-активные источники АЭ-сигнала требуют немедленного уменьшения нагрузки до 0, либо величины, при которой класс источника АЭ снизится до уровня активных или критически активных. После сброса нагрузки требуется немедленный ремонт дефектного узла. Для АЭ-контроля металлоконструкции использовался многоканальный акустико-эмиссионный комплекс на базе приборов АФ-15 и ПЭВМ. Схема установки пьезопреобразователей АЭ на металлоконструкции крана приведена на рис 1, 2. АЭ-контролю подвергались ездовые балки крана при приложении испытательной нагрузки, равной максимальной грузоподъемности $P_{исп} = 32$ тс, и выдержке под этой нагрузкой.

Средства измерений. При проведении технического диагностирования металлоконструкции крана использовался набор средств измерений, приведенный в табл. 2.

Таблица 2 – Средства измерений

Наименование прибора	Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерений
Акустико-эмиссионный комплекс на базе приборов и компьютера	АФ-15 Notebook	8 каналов, частотный диапазон 20...2000 кГц регистрация активности от 10^0 до 10^3 имп/с	± 10 %
Толщиномер ультразвуковой	УТ-93П	0,6...350 мм 100...1000 мм	осн. погр. ± 1 %
Тензоусилитель	8АНЧ-23	8 каналов 10...1500 Гц при $P = 8$ кГц; 10...5000 Гц при $P = 20$ кГц	$\pm 0,2$ %
Тензорезистор	КФ5П1-10-100-Б-12	$R = 100 \pm 0,1$ Ом чувствительность 2,1...2,2	
Светолучевой осциллограф	К-20-22	(0...500) Гц	± 5 %

Результаты контроля состояния металлоконструкции.

Измерение толщины стенки металла и оценка степени коррозионного износа. На рис. 3 приведено распределение длины трещин в отсеках правой и левой балок. Видна концентрация трещин значительного протяжения в интервале отсеков «13-28». Результаты измерения толщин стенок металла сведены на рис. 4, 5.



Рисунок 3. Наличие и длина трещин в отсеках балок: 1 – правой, 2 – левой

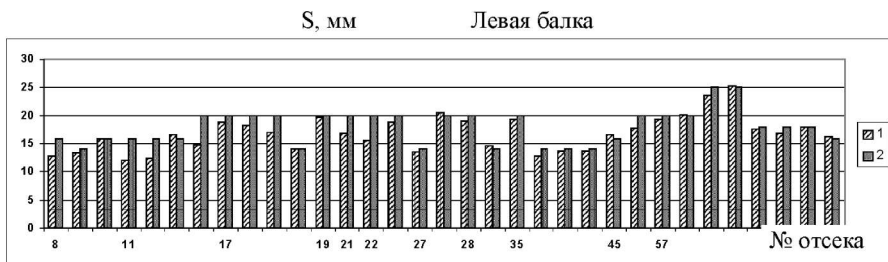
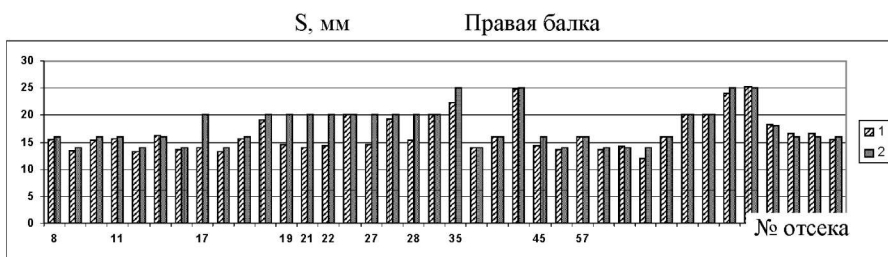


Рисунок 4 – Толщины листов: 1 – измеренные, 2 – согласно чертежам

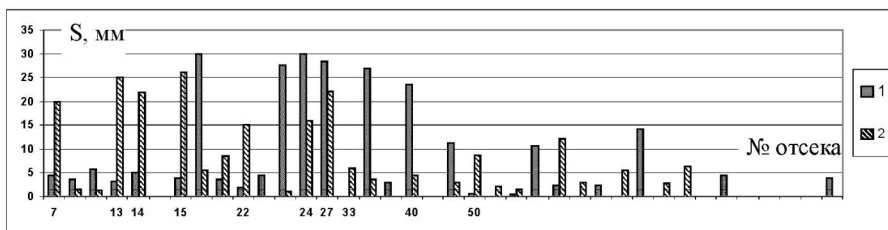


Рисунок 5 – Степень коррозионного износа листов балок, %: 1 – правой, 2 – левой

Максимальное утонение листов составило: *правая балка*: верхний лист под рельсом – 30 %; нижний лист – 5,6 %; вертикальный лист, внутренняя сторона – 5,0 %; верхний лист, заделка раскоса – 14,3 %; *левая балка*: верхний лист под рельсом – 26 %; нижний лист – 8,5 %; вертикальный лист, внутренняя сторона – 3,6 %; верхний лист, под I шпренгельной стойкой – 12,0 %.

Механический износ верхнего листа балок под рельсом – выше допустимой величины (10 %). Коррозионный износ верхнего листа правой балки в зоне крепления раскоса и I шпренгельной стойки носит очаговый характер, выше допустимой величины (10 %).

Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкции крана. Расположение тензорезисторов на металлоконструкции крана приведены на рис. 1, 2. Соответствующие распределения напряжений – на рис. 6.

За нулевой отсчет приняты показания тензорезисторов при опущенном на землю грейфере с ослабленными канатами и тележкой, находящейся над жесткой опорой.

Максимальные значения напряжений от действия испытательной нагрузки составили – при нахождении тележки с грузом в центре пролета моста: т/р №5–32,0 МПа; т/р №6–32,2 МПа; т/р №12–32,3 МПа; т/р №13–32,5 МПа. Максимальные напряжения, таким образом, наблюдаются в районе отсеков «26-28».

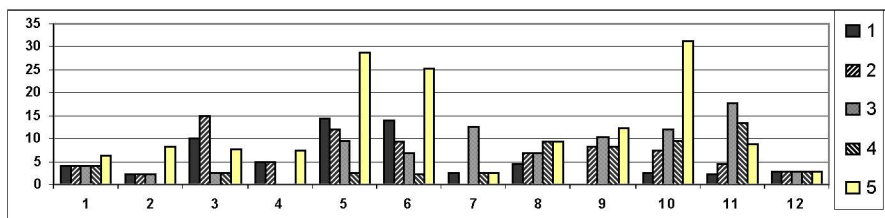


Рисунок 6 – Напряжения в тензодатчиках (МПа) при различных (табл. 3) положениях тележки (1994 год)

АЭ-контроль металлоконструкции крана на наличие в ней развивающихся дефектов. В процессе АЭ-контроля металлоконструкция крана нагружалась статической испытательной нагрузкой 320 кН. Активность источников сигналов акустической эмиссии зафиксирована по обоим мостовым балкам. Интенсивность сигналов акустической эмиссии нарастала в моменты отрыва груза от земли. После отрыва груза и выключения механизмов подъема интенсивность АЭ-сигналов ослабевает. На площадках выдержек под испытательной нагрузкой идет регистрация сигналов от активных дефектов в сварных швах и основном металле контролируемых отсеков.

Все локализованные источники сигналов от действия испытательной нагрузки, равной 320 кН, классифицируются как активные и критически-активные. Катастрофически активных источников АЭ-сигналов не зафиксировано.

Таблица 3 – Положения грейферной тележки

№ положения тележки	Местонахождение тележки
1	Тележка с грузом над жесткой опорой
2	Тележка с грузом на консоли за жесткой опорой
3	Тележка с грузом в центре пролета
4	Тележка с грузом над гибкой опорой
5	Тележка с грузом на консоли за гибкой опорой

Заключение. По результатам технического диагностирования металлоконструкции крана-перегрузателя зав. № 830, рег. № 077898, можно сделать следующие выводы.

1. Наличие критически-активных источников АЭ (развивающихся трещин) при нагружении крана номинальной нагрузкой не позволило его подвергнуть испытательной нагрузке $1,25 Q_{\text{НОМ}}$ (на 25% выше номинальной).
2. В верхней части II-й и III-й стоек правой балки выявлены трещины. При этом трещина во второй стойке правой балки расценивается как критически-активная и требует неопременного устранения. Во II и III стойках правой балки трещин не выявлено.
3. В отсеках 13, 14, 15, 18 правой балки в сварном шве под рельсом выявлены активные трещины длиной 400÷600 мм, в отсеках 13, 18, 21, 25 левой балки там же выявлены активные трещины длиной 300-400 мм, в отсеке 18 на продольной балке – трещина около 800 мм.
4. Правая балка имеет критически активные трещины в отсеках 19, 20, 21 длиной от 1500 мм до 2000 мм.
5. В отсеках 18, 21, 25, 26, 27, 28 левой балки выявлены активные трещины длиной 300-600 мм.
6. Коррозионно-механический износ верхнего листа мостовых балок под пяткой рельса составляет 26-30 % от толщины листа верхнего пояса.
7. Максимальный коррозионный износ 14,3 % имеет верхний лист в кармане раскоса на консоли жесткой опоры и 12 % – верхний лист под первой шпренгельной стойкой.
8. В остальных несущих элементах металлоконструкции крана интенсивная коррозия отсутствует и не превышает 10 %.

Полученные в процессе исследований конкретного углеперегрузателя результаты исследований свидетельствуют о значительных проблемах с обеспечением его несущей способности после значительных (десятилетия) сроков эксплуатации. Источником существенного снижения несущей способности является совместное действие таких факторов, как многоцикловое динамическое силовое воздействие и ослабление сечений вследствие коррозий. Огромные трещины в балках углеперегрузателя не позволяют произвести догружение крана нагрузкой нагрузкой, превышающей на 25% номинальную, вследствие раз-

виття при этом процессов разрушения, которые фиксирует АЭ-контроль.

Весь цикл проведенных исследований одного углеперегрузателя свидетельствует, во-первых, о наличии проблемы обеспечения нагрузочной способности углеперегрузателей, во-вторых – о факторах, ее вызывающих, а в-третьих, – о необходимости создания расчетно-экспериментальной методики обеспечения нагрузочной способности при проектировании углеперегрузателей путем рационального выбора его конструктивных параметров на основе численного анализа напряженно-деформированного состояния с учетом экспериментально определенных изменений толщины несущих элементов конструкций на примере обследования множества углеперегрузателей. Данное направление является предметом дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Гусев Ю.Б. К вопросу об исследовании напряженно-деформированного состояния металлоконструкции перегружателя ПМГ-20 // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вип.: Машинобудування та САПР. – 2006. – № 24. – С.70-75. 2. Гусев Ю.Б., Слободяник В.А., Ткачук Н.А., Танченко А.Ю. К вопросу об определении причин сверхнормативного износа реборд колес грейферной тележки мостового крана-перегрузателя // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – № 3. – С. 55-66. 3. Гусев Ю.Б., Шкода В.А., Танченко А.Ю. Формирование конечно-элементной модели металлоконструкции углеперегрузателя // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – № 23. – С. 33-39. 4. Гусев Ю.Б., Литвиненко А.В., Танченко А.Ю. К вопросу моделирования напряженно-деформированного состояния металлоконструкции углеперегрузателя // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Транспортне машиностроєння. – 2007. – № 31. – С. 75-80. 5. Гусев Ю.Б., Танченко А.Ю. К вопросу определения жесткостных характеристик металлоконструкции углеперегрузателя // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинобудування та САПР. – 2007. – № 29. – С.42-47.

Поступила в редколлегию 20.11.2007

УДК 539.3

В.О.ЖОВДАК, докт. техн. наук; **О.О.ЛАРИН**;
О.М. ГОЛОВКО; НТУ «ХПИ»

ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ ЦИКЛО-СИМЕТРИЧНОГО ЛОПАТКОВОГО АПАРАТУ З ВИПАДКОВИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ РОЗЛАДОМ

Проведено аналіз гармонічних коливань цикло-симетричної дискретної моделі лопаткового апарату першого ступеня циліндру низького тиску парової турбіни з випадково заданим розладом методом Монте-Карло. Наведено різноманітні реалізації розладу та відповідні їм реалізації АЧХ. Побудовано математичні очікування та дисперсії АЧХ.

Investigation of the harmonic vibration of the lump-mass discrete cyclic model of bladed disk of the first stage of the steam turbine with the random mistuning is carried out by means of Monte-Carlo method. Various realizations of the mistuning and corresponding to them amplitude-frequency characteristics are investigated. The expectations and variances for the frequency-response curve are built.